

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. April 2004 (01.04.2004)

PCT

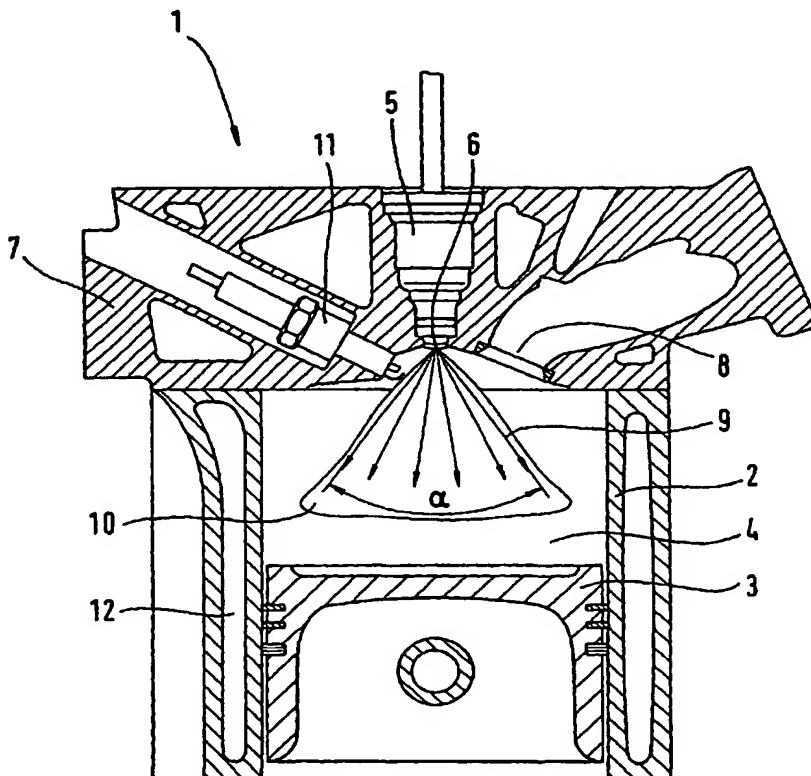
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/027239 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F02D 41/06, 41/34 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse 225, 70567 Stuttgart (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/009988 (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ALTENSCHMIDT, Frank [DE/DE]; Mozartstrasse 15, 88400 Biberach (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 9. September 2003 (09.09.2003) (74) Anwälte: KREISER, André usw.; DaimlerChrysler AG, Intellectual Property Management, IPM - C106, 70546 Stuttgart (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102 42 227.3 12. September 2002 (12.09.2002) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPERATING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH DIRECT FUEL INJECTION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER BRENNKRAFTMASCHINE MIT KRAFTSTOFFDIREKTEIN-SPRITZUNG



(57) Abstract: The invention relates to a method for operating an internal combustion engine comprising an injection device. According to the inventive method, combustion air is fed to a combustion chamber via an inlet duct, fuel is injected into the combustion chamber by means of a fuel nozzle that is disposed inside the combustion chamber, and a formed fuel/air mixture is ignited at a given point of ignition by means of a spark plug that is arranged inside the combustion chamber, a high-pressure start or low-pressure start being selected according to a minimum fuel pressure that is built up in the injection device within a predefined number of cycles when starting the internal combustion chamber such that the minimum fuel pressure and the number of cycles are determined in accordance with a combustion chamber temperature. Fuel is injected in a clocked manner into the combustion chamber during the starting operation.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit einer Einspritzvorrichtung, bei dem über einen Einlasskanal einem Brennraum Verbrennungsluft zugeführt wird, mittels einer im Brennraum angeordneten Kraftstoffdüse Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt wird, mittels einer im Brennraum angeordneten Zündkerze ein gebildetes Kraftstoff/Luft-Gemisch bei einem bestimmten Zündzeitpunkt gezündet wird, wobei beim Start der Brennkraftmaschine ein Hoch- oder ein Niederdruckstart in Abhängigkeit von einem in der Einspritzvorrichtung innerhalb einer definierten Zyklusanzahl aufgebauten Kraftstoffmindestdrucks gewählt wird, so dass der Kraftstoffmindestdruck und die Zyklusanzahl in Abhängigkeit von einer Brennraumtemperatur bestimmt werden, wobei während des Startbetriebs die Einspritzung des Kraftstoffs in den Brennraum getaktet erfolgt.

Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Während einer Startphase einer fremdgezündeten Fremdkraftmaschine mit KraftstoffDirekteinspritzung werden insbesondere bei einem Kaltstart große Mengen an unverbrannten Kraftstoffanteilen produziert, da die Brennraumtemperatur der Brennkraftmaschine während einer Kaltstartphase niedrig ist. Daher kann eine ausreichende Verdampfung des eingespritzten Kraftstoffes nicht stattfinden. Aufgrund der niedrigen Zylinderwandtemperatur lagern sich einige Kraftstoffanteile an der Zylinderwand der Brennkraftmaschine an und nehmen an der Verbrennung nicht teil.

Aus der Patentschrift US 54 82 017 ist ein Verfahren zum Betrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit KraftstoffDirekteinspritzung bekannt, bei dem während einer Startphase beim ersten Verbrennungszyklus eine Kraftstoffmenge eingespritzt wird, welche größer als die benötigte Kraftstoffmenge ist, um die an der Zylinderwand angelagerten Kraftstoffanteile auszugleichen. Dadurch wird eine zuverlässige Zündung des gebildeten Kraftstoffluftgemisches erzielt. Bei den darauf folgenden Verbrennungszyklen wird ein mageres Kraftstoff/Luft-Gemisch im Brennraum gebildet, welches früher gezündet wird, um die Brennraumtemperatur bzw. die Zylinderwandtemperatur zu erhöhen. Um eine nachgeschaltete Abgasbe-

handlungseinrichtung zu erwärmen, wird dann bei den darauf folgenden Verbrennungszyklen eine Teilung der Kraftstoffmenge in einer frühen und einer späten Einspritzung und eine spätere Zündung des gebildeten Kraftstoff/Luft-Gemischs vorgenommen.

Die Offenlegungsschrift WO 99/67526 offenbart ein Verfahren zum Betrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung, bei dem der Druck des in den Brennraum eingespritzten Kraftstoffes ermittelt wird, so dass der Kraftstoff während der Ansaugphase der Brennkraftmaschine dann eingespritzt wird, wenn der Kraftstoffdruck kleiner ist als ein vorgegebener Minimaldruck. Dabei ist ein Drucksensor vorgesehen, mit dem der Druck des in den Brennraum eingespritzten Kraftstoffes vor dem Eintritt in den Brennraum gemessen wird. Beim Überschreiten eines Minimaldruckes wird die Brennkraftmaschine während der Startphase in einem Schichtbetrieb und beim Unterschreiten des Minimaldruckes in einem Homogenbetrieb betrieben.

Aus der Patentschrift DE 198 232 80 C1 ist ein Verfahren zum Betrieb einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine während der Startphase bekannt, bei dem in Abhängigkeit von einer Kühlmitteltemperatur zwischen einem Niederdruckstart mit einem homogenen Gemisch und einem Hochdruckstart mit einem geschichteten Gemisch umgeschaltet wird. Dabei wird ein Hochdruckstart der Brennkraftmaschine eingeleitet, wenn der Druck in einem Kraftstoffdruckspeicher einen vorgegebenen Schwellenwert überschritten hat. Dabei ist der Schwellenwert in Abhängigkeit einer Kühlmitteltemperatur in einem Kennfeld der Steuerungseinrichtung abgelegt.

Mit den oben beschriebenen Verfahren wird beim Startbetrieb einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine mit Kraftstoffdirekteinspritzung keine optimale Verbrennung erzielt, da ein Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine während der Startphase ohne Zündaussetzer nicht gewährleistet werden kann.

Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, den Einspritzvorgang während der Startphase derart zu gestalten, dass eine Brennraumwandbenetzung mit Kraftstoff während des Einspritzvorganges verringert und eine zündfähige Gemischwolke im Brennraum der Brennkraftmaschine in der Nähe einer Zündquelle gebildet wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass der Kraftstoffmindestdruck und die Zyklenanzahl beim Start der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit von einer Brennraumtemperatur gewählt werden, wobei während des Startbetriebs die Einspritzung des Kraftstoffs in den Brennraum vorzugsweise getaktet stattfindet. Durch die Taktung der eingespritzten Kraftstoffmenge während eines Zyklus wird eine Brennraumwandbenetzung mit dem eingespritzten Kraftstoff minimiert, wodurch die Emissionen insbesondere die unverbrannten Kraftstoffanteile während der Startphase verringert werden. Da ein Hochdruckstart erst dann eingeleitet wird, wenn genügend Kraftstoffdruck vorhanden ist, wird eine verbesserte Zerstäubung des eingespritzten Kraftstoffs gewährleistet. Weiterhin wird ein Druckabfall in der Einspritzvorrichtung während des Hochdruckstarts durch die Taktung der eingespritzten Kraftstoffmenge aufgrund des hohen Kraftstoffmenigenbedarfs beim Start der Brennkraftmaschine verhindert.

In einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird während des Startbetriebs die Kraftstoffgesamtmenge in bis zu drei Teilmengen in den Brennraum eingebracht, d.h. die Kraftstoffgesamtmenge kann wahlweise in Form von einer, zwei oder drei Teilmengen in den Brennraum eingebracht werden. Durch die Taktung der eingespritzten Kraftstoffmenge wird verhindert, dass bei einem Niederdruckstart aufgrund des niedrigen Kraftstoffsystemdrucks Verbrennungsluft in den Kraftstoffin-

jektor beziehungsweise in die Kraftstoffverteilerleitung, beispielsweise eine Common-Rail, eindringt. Daher findet unabhängig von der Einspritzstrategie die Einspritzung im Kompressionshub früh genug statt, so dass der Kompressionsdruck den Kraftstoffeinspritzdruck nicht übersteigt. Beim Hochdruckstart kann durch die Taktung der eingespritzten Kraftstoffmenge durch eine Variation der Einspritzzeitpunkte ein Homogen-Start, eine Mischform aus einem Homogen- und Schichtstart oder ein reiner Schichtstart erzielt werden.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden bei einem Niederdruckstart bis zu drei Teilmengen vor dem Zündzeitpunkt, und bei einem Hochdruckstart bis zu zwei Teilmengen vor und eine Teilmenge nach dem Zündzeitpunkt in den Brennraum eingespritzt. Da beim Niederdruckstart die Einspritzung der Teilmengen, es können eine, zwei oder drei Teilmengen sein, vor dem Zündzeitpunkt abgeschlossen ist, werden hohe HC-Emissionen verhindert und eine zuverlässige Verbrennung der gesamten Kraftstoffmenge sichergestellt.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird der Zündzeitpunkt während des Startbetriebs der Brennkraftmaschine in Abhängigkeit von der Brennraumtemperatur und einer Differenz zwischen einer Ist-Drehzahl und einer Leerlauf-Drehzahl geregelt. Durch die Abhängigkeit des Zündzeitpunkts von der Brennraumtemperatur wird sichergestellt, dass eine Erhöhung der Brennraumtemperatur in den ersten Zyklen erzielt wird.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird während eines Hochdruckstarts bei Unterschreitung eines definierten Kraftstoffmindestdrucks in der Einspritzvorrichtung auf den Niederdruckstart umgeschaltet. Hierdurch werden definierte Druckverhältnisse geschaffen, die eine kontrollierte Kraftstoffzumessung ermöglichen. Dadurch wird sichergestellt, dass keine Wandbenetzung durch den spät eingespritzten Kraftstoff stattfindet.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird die Brennraumtemperatur mittels einer Temperaturmesseinrichtung am Brennraum oder anhand einer Kühlmitteltemperatur der Brennkraftmaschine erfaßt. Vorzugsweise wird eine Temperatursonde im Brennraumbereich am Zylinderkopf angebracht. Alternativ dient eine Kühlmitteltemperatur als eine Bezugsgröße für die Ermittlung der Brennraumtemperatur, wobei die Temperatur der angesaugten Luftmasse zusätzlich oder alternativ zur Kühlmitteltemperatur als eine weitere Bezugsgröße für die Ermittlung der Brennraumtemperatur verwendet werden kann.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung erfolgt bei einer Kühlmitteltemperatur kleiner als  $-15^{\circ}\text{C}$  oder größer als  $90^{\circ}\text{C}$  ein Niederdruckstart, wobei bei einem in der Einspritzvorrichtung aufgebauten Kraftstoffmindestdruck von mindestens 10 bar und bei einer Kühlmitteltemperatur zwischen  $-15^{\circ}\text{C}$  und  $90^{\circ}\text{C}$  ein Hochdruckstart stattfindet. Bei einem Kraftstoffdruck von mindestens 10 bar wird eine gute Sprayqualität des eingespritzten Kraftstoffes gewährleistet und eine Verdampfung des eingespritzten Kraftstoffs erzielt, ohne daß es zu einer Wandanlagerung kommt. Dabei wird ein Niederdruckstart bei Temperaturen größer als  $90^{\circ}\text{C}$  bevorzugt, da durch hohe Temperaturen im Brennraum oftmals während eines Wiederstartbetriebs der Brennkraftmaschine aufgrund der zunehmenden Spaltmasse in der Kraftstoffpumpe kein ausreichender Kraftstoffdruck aufgebaut werden kann. Vorzugsweise findet der Niederdruckstart in einem Temperaturbereich kleiner als  $-30^{\circ}\text{C}$  oder größer als  $110^{\circ}\text{C}$ , und der Hochdruckstart zwischen  $-30^{\circ}\text{C}$  und  $110^{\circ}\text{C}$  statt.

Weitere Merkmale und Merkmalskombinationen ergeben sich aus der Beschreibung. Konkrete Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Zylinderquerschnitt einer direkt einspritzenden Brennkraftmaschine mit Fremdzündung,

Fig. 2 ein schematisches Diagramm des Einspritzverlaufs der Brennkraftmaschine gemäß Fig.1 während eines Niederdruckstarts aufgetragen über dem Kurbelwinkel, und

Fig. 3 ein schematisches Diagramm des Einspritzverlaufs der Brennkraftmaschine gemäß Fig.1 während eines Hochdruckstarts aufgetragen über dem Kurbelwinkel.

Figur 1 zeigt einen Zylinder 2 einer direkt einspritzenden Brennkraftmaschine 1, in dem ein längs beweglich angeordneter Kolben 3 mit einem dem Zylinder 2 verschließenden Zylinderkopf 7 einen Brennraum 4 begrenzt. Im Zylinderkopf 7 ist ein Kraftstoffinjektor 5 angeordnet, bei dem durch eine Düsenöffnung 6 Kraftstoff in den Brennraum 4 in Form eines Kraftstoffkegels 9 eingespritzt wird. Eine nicht dargestellte Steuereinrichtung bestimmt bei der Brennkraftmaschine 1 während einer Startphase durch einen ermittelten Kraftstoffdruck in einer nicht dargestellten Einspritzvorrichtung, ob beim Start der Brennkraftmaschine 1 ein Hochdruckstart oder ein Niederdruckstart eingeleitet wird. Bei der Freigabe der Düsenöffnung 6 wird der Kraftstoff in einem Kegelstrahl 9 in den Brennraum 4 derart eingespritzt, daß die im Zylinderkopf 7 angeordnete Zündkerze 11 im wesentlichen nicht benetzt wird. Dabei wird der Kraftstoffstrahl 9 in den Brennraum mit einem Öffnungswinkel  $\alpha$  eingebracht, der vorzugsweise in einem Bereich zwischen  $70^\circ$  und  $110^\circ$  liegt. Die in Figur 1 dargestellte Brennkraftmaschine 1 arbeitet nach dem Viertaktprinzip, wobei sich das erfindungsgemäße Verfahren ebenfalls für fremdgezündete Zweitaktbrennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung eignet.

Im ersten Takt eines Arbeitspiels nach dem Viertakt-Prinzip arbeitender Brennkraftmaschine aus Fig. 1 wird dem Brennraum 4 durch einen Einlaßkanal 8 Verbrennungsluft zugeführt, wobei der Kolben 3 sich in einer Abwärtsbewegung bis zu einem unteren Totpunkt UT bewegt. In einem weiteren Kompressionstakt



bewegt sich der Kolben 3 in einer Aufwärtsbewegung vom unteren Totpunkt UT bis zu einem oberen Zündtotpunkt ZOT. Im Bereich des oberen Zündtotpunkts ZOT wird mittels der Zündkerze 11 das gebildete Kraftstoff/Luft-Gemisch gezündet, wobei der Kolben 3 in einer Abwärtsbewegung bis zu einem unteren Totpunkt UT expandiert. In einem letzten Takt fährt der Kolben 3 in einer Aufwärtsbewegung bis zu einem oberen Totpunkt OT und schiebt die Abgase aus dem Brennraum 4 aus.

Abhängig von einer in einem Kühlwasserkanal 12 gemessene Kühlwassertemperatur wird mittels einer nicht dargestellten Steuereinrichtung festgelegt, ob eine Hochdruck- oder ein Niederdruckstart während der Startphase der Brennkraftmaschine durchgeführt wird. Ein Hochdruckstart wird dann eingeleitet, wenn ein Kraftstoffmindestdruck in einer nicht dargestellten Kraftstoffverteilerleitung vorliegt, die beispielsweise als Kraftstoff-Common-Rail ausgebildet ist. Der Kraftstoffmindestdruck wird in Abhängigkeit von der ermittelten Kühlwassertemperatur festgelegt. Dieser beträgt vorzugsweise mindestens 10 bar. Bei einem solchen Kraftstoffdruck ist sichergestellt, dass eine gute Zerstäubungsqualität erzielt wird. Der Kraftstoffmindestdruck muss wiederum nach einer definierten Anzahl von Verbrennungszyklen aufgebaut sein. Gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wird ein Zyklus als ein Vorgang vom ersten bis zum vierten Takt gemäß der oben dargestellten Viertaktfolge verstanden. Vorzugsweise soll der Kraftstoffmindestdruck nach ungefähr vier Sekunden aufgebaut sein. Dabei wird die Anzahl der Verbrennungszyklen in Abhängigkeit von der Kühlwassertemperatur festgelegt.

Erreicht der Kraftstoffdruck nach einer definierten Anzahl von Zyklen nicht den Kraftstoffmindestdruck, so wird ein Niederdruckstart eingeleitet. Gemäß Figur 2 wird die Kraftstoffmenge in bis zu drei Teilmengen in den Brennraum vor dem Zündzeitpunkt ZZP eingebracht. Die Aufteilung der Kraftstoffmenge ermöglicht eine bessere Verteilung des eingespritzten Kraftstoffs im Brennraum 4 und entlastet das Kraftstoffsys-

tem. Die erste Teilmenge  $E1_{ND}$  wird während der Ansaugphase in den Brennraum 4 eingebracht. Die zweite Teilmenge  $E2_{ND}$  erfolgt in einem Bereich zwischen einem Endteil der Ansaugphase und einem Anfangsteil der Kompressionsphase. Die dritte Teilmenge  $E3_{ND}$  erfolgt dann kurz vor dem Zündzeitpunkt ZZP, so dass im Bereich der Zündkerze 11 eine zündfähige Gemischwolke vorliegt. Die in Fig. 2 gezeigten Einspritzzeitpunkte sind schematisch dargestellt; sie sind frei wählbar, wobei sie in Abhängigkeit von einer Ist-Drehzahl, und/oder einer Kühlwassertemperatur variiert werden.

Das Ende der Kraftstoffeinspritzungen  $E1_{ND}$ ,  $E2_{ND}$  und  $E3_{ND}$  wird über drei Kennfelder festgelegt. Die Kennfelder sind jeweils über die Kühlwassertemperatur und die Zyklenanzahl aufgespannt. Dabei wird die Kraftstoffeinspritzung derart gestaltet, dass Überschneidungen von Kraftstoffeinspritzungen verhindert werden. Daher ist es denkbar, das Ende der dritten Einspritzung  $E3_{ND}$  und die zwei vorangegangenen Einspritzungen  $E1_{ND}$  und  $E2_{ND}$  über Verzugszeiten oder Differenzwinkel festzulegen. Während des Niederdruckstarts wird aufgrund des niedrigen Kraftstoffdrucks die Einspritzdauer der letzten Einspritzung  $E3_{ND}$  begrenzt, um den Eintritt von Kraftstoff und Luft in den Injektor zu verhindern. Dabei wird mittels einer Druckkompensation sichergestellt, dass zu jeder Zeit die richtige Einspritzzeit eingestellt wird. Beim Niederdruckstart wird vorzugsweise ein Druckregler in der Einspritzvorrichtung offen gehalten, um definierte Druckverhältnisse in der Kraftstoffverteilerleitung der Einspritzvorrichtung zu erzielen. Die in Figur 2 dargestellten Einspritzzeiten der drei Teilmengen sind nur als Beispiel dargestellt, wobei die Einspritzzeiten frei wählbar sind, und in Abhängigkeit vom Kraftstoffdruck in der Einspritzvorrichtung variiert werden. Grundsätzlich findet bei einer Kühlmitteltemperatur kleiner als  $-15^{\circ}\text{C}$  oder größer als  $90^{\circ}\text{C}$  ein Niederdruckstart statt.

Ist der Kraftstoffmindestdruck nach der definierten Anzahl von Zyklen erreicht, so wird ein Hochdruckstart eingeleitet.

Bei einem eingeleiteten Hochdruckstart wird das Einspritztiming über dem Einspritzende definiert. Auf diese Weise wird ein direkter Bezug zur Zündung hergestellt und somit eine einfache Regelung der Kraftstoffeinspritzung erzielt. Gemäß Figur 3 erfolgt beim Hochdruckstart die Einspritzung des Kraftstoffes in bis zu drei Teilmengen  $E1_{HD}$ ,  $E2_{HD}$  und  $E3_{HD}$ . Die erste Teilmenge  $E1_{HD}$  wird während der Ansaugphase eingespritzt. Die Aufteilung der Kraftstoffmasse wird anhand in der Steuereinheit abgelegten Kennfeldern festgelegt, in denen über der Kühlwassertemperatur, einer Ist-Drehzahl und einer Leerlaufdrehzahl das Ende der ersten Einspritzung  $E1_{HD}$  unabhängig vom Zündzeitpunkt ZZP festgelegt wird. Die zweite Kraftstoffeinspritzung  $E2_{HD}$  erfolgt während der Kompressionsphase derart, dass der Abstand zwischen dem Ende der zweiten Kraftstoffeinspritzung  $E2_{HD}$  und dem Zündzeitpunkt ZZP in Abhängigkeit von der Kühlwassertemperatur, der Ist-Drehzahl und der Leerlaufdrehzahl festgelegt wird. Die dritte Kraftstoffeinspritzung  $E3_{HD}$  erfolgt kurz nach dem Zündzeitpunkt ZZP, wobei die dritte Kraftstoffeinspritzung  $E3_{HD}$  über eine Verzögerungszeit zwischen der zweiten und der dritten Kraftstoffeinspritzung  $E3_{HD}$  derart festgelegt wird, dass sie an der Verbrennung teilnimmt. Es ist denkbar, dass beim Hochdruckstart nur eine einzige Kraftstoffeinspritzung vorgenommen wird, die Vorteilhafterweise dann in einem Bereich von 40°KW bis 160°KW vor ZOT stattfindet.

Dementsprechend wird beim Hochdruckstart eine kombinierte Brennraumladung aus Homogen- und Schichtladung erzielt. Die erste Kraftstoffteilmenge stellt den homogenen Anteil, die zweite und die dritte den geschichteten Anteil dar. Dadurch werden Kraftstoffwandanlagerungen minimiert und eine sichere Zündung der gebildeten Kraftstoffwolke erzielt. Vorzugsweise wird mittels einer Druckkompensation in der Kraftstoffeinspritzvorrichtung sichergestellt, daß zu jeder Zeit während der Startphase die richtige Einspritzzeit gewählt wird.

Mit der beschriebenen Mehrfacheinspritzung während der Startphase wird das Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine 1 verbessert, wobei insbesondere die Emissionsbildung durch die unverbrannten Kraftstoffanteile aufgrund einer niedrigen Wandtemperatur minimiert wird. Diese Vorteile ergeben sich vorzugsweise beim Einsatz eines Piezo-Injektors, bei dem kurze Einspritzzeiten, beispielsweise weniger als 0,25 msec erzielt werden können. Dadurch wird die Einspritzung von sehr kleinen Kraftstoffteilmengen in den Brennraum 4 ermöglicht, und für den Startbetrieb der Brennkraftmaschine 1 die benötigte Kraftstoffmenge stark reduziert.

Während der Startphase wird der Zündzeitpunkt ZP sowohl beim Nieder- als auch beim Hochdruckstart in Abhängigkeit von der Kühlwassertemperatur und der Motordrehzahl mittels der Steuereinheit geregelt. Dabei wird der Zündzeitpunkt ZP in einem Kennfeld abgelegt, in dem der Zündzeitpunkt ZP über der Kühlwassertemperatur, der Differenz zwischen der Ist-Drehzahl und der Leerlauf-Drehzahl aufgetragen ist. Nach Verlassen der Startphase wird der Zündzeitpunkt ZP dem normalen Betriebszustand angeglichen. Die in der Steuereinheit applizierten Zündzeitpunkte werden für den Niederdruck- und Hochdruckstart in getrennten Kennfeldern abgelegt.

Insbesondere eignen sich das erfindungsgemäße Verfahren für den Einsatz bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen mit Fremdzündung, bei denen ein strahlgeführtes Brennverfahren vorliegt. Bei solchen Brennkraftmaschinen werden nach außen öffnende Einspritzdüsen verwendet, bei denen der Kraftstoff als Hohlkegel in den Brennraum eingespritzt wird. Vorzugsweise wird der Kraftstoff als ein Kraftstoffhohlkegel mit einem Winkel  $\alpha$  zwischen  $70^\circ$  und  $100^\circ$  in den Brennraum eingebracht, so dass der Kraftstoffhohlkegel bei einer Kraftstoffeinspritzung im Kompressionstakt auf im Brennraum komprimierte Verbrennungsluft trifft. Ein torusförmiger Wirbel wird dadurch im Außenbereich bzw. am Rand des eingespritzten Kraftstoffhohlkegels gebildet, womit im Bereich der Elektroden der

Zündkerze ein zündfähiges Kraftstoff/Luft-Gemisch bereitgestellt wird. Dabei erfolgt die Anordnung der Zündkerze derart, dass die Elektroden der Zündkerze 11 in den erzielten Randwirbel hineinragen, ohne dass sie während der Kraftstoffeinspritzung wesentlich benetzt werden, d.h. bei einer leichten bzw. geringfügigen Benetzung der Elektroden der Zündkerze sollte bis zum Zündzeitpunkt der größte Anteil des Kraftstoffes an den Elektroden wieder verdampft sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine mit einer Einspritzvorrichtung, bei dem
  - über einen Einlasskanal einem Brennraum Verbrennungsluft zugeführt wird,
  - mittels einer im Brennraum angeordneten Kraftstoffdüse Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt wird,
  - mittels einer im Brennraum angeordneten Zündkerze ein gebildetes Kraftstoff/Luft-Gemisch bei einem bestimmten Zündzeitpunkt gezündet wird, und
  - beim Start der Brennkraftmaschine ein Hoch- oder ein Niederdruckstart in Abhängigkeit von einem in der Einspritzvorrichtung innerhalb einer definierten Zyklenanzahl aufgebauten Kraftstoffmindestdrucks gewählt wird,

d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,

  - dass der Kraftstoffmindestdruck und die Zyklenanzahl in Abhängigkeit von einer Brennraumtemperatur gewählt werden, wobei
  - während des Startbetriebs die Einspritzung des Kraftstoffs in den Brennraum vorzugsweise getaktet stattfindet.
2. Verfahren nach Anspruch 2,  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass während des Startbetriebs die eingespritzte Kraftstoffgesamtmenge in bis zu drei Teilmengen in den Brennraum eingebracht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass bei einem Niederdruckstart die bis zu drei Teilmen-  
gen vor dem Zündzeitpunkt, und bei einem Hochdruckstart  
die bis zu zwei Teilmengen vor und eine Teilmenge nach  
dem Zündzeitpunkt in den Brennraum eingespritzt werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der Zündzeitpunkt während des Startbetriebs in Ab-  
hängigkeit von der Brennraumraumtemperatur und einer Dif-  
ferenz zwischen einer Ist-Drehzahl und einer Leerlauf-  
drehzahl bestimmt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass während eines Hochdruckstarts bei Unterschreitung  
eines definierten Kraftstoffmindestdrucks in der Ein-  
spritzvorrichtung auf den Niederdruckstart umgeschaltet  
wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Brennraumtemperatur mittels einer Temperatur-  
messeinrichtung am Brennraum oder anhand einer Kühlmit-  
teltemperatur der Brennkraftmaschine erfasst wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass ein Niederdruckstart bei einer Kühlmitteltemperatur  
kleiner als  $-15^{\circ}\text{C}$  oder größer als  $90^{\circ}\text{C}$  erfolgt, wobei bei  
einem in der Einspritzvorrichtung aufgebauten Kraftstoff-  
mindestdruck von mindestens 10 bar und bei einer Kühlmit-  
teltemperatur zwischen  $-15^{\circ}\text{C}$  und  $90^{\circ}\text{C}$  ein Hochdruckstart  
erfolgt.

1/2

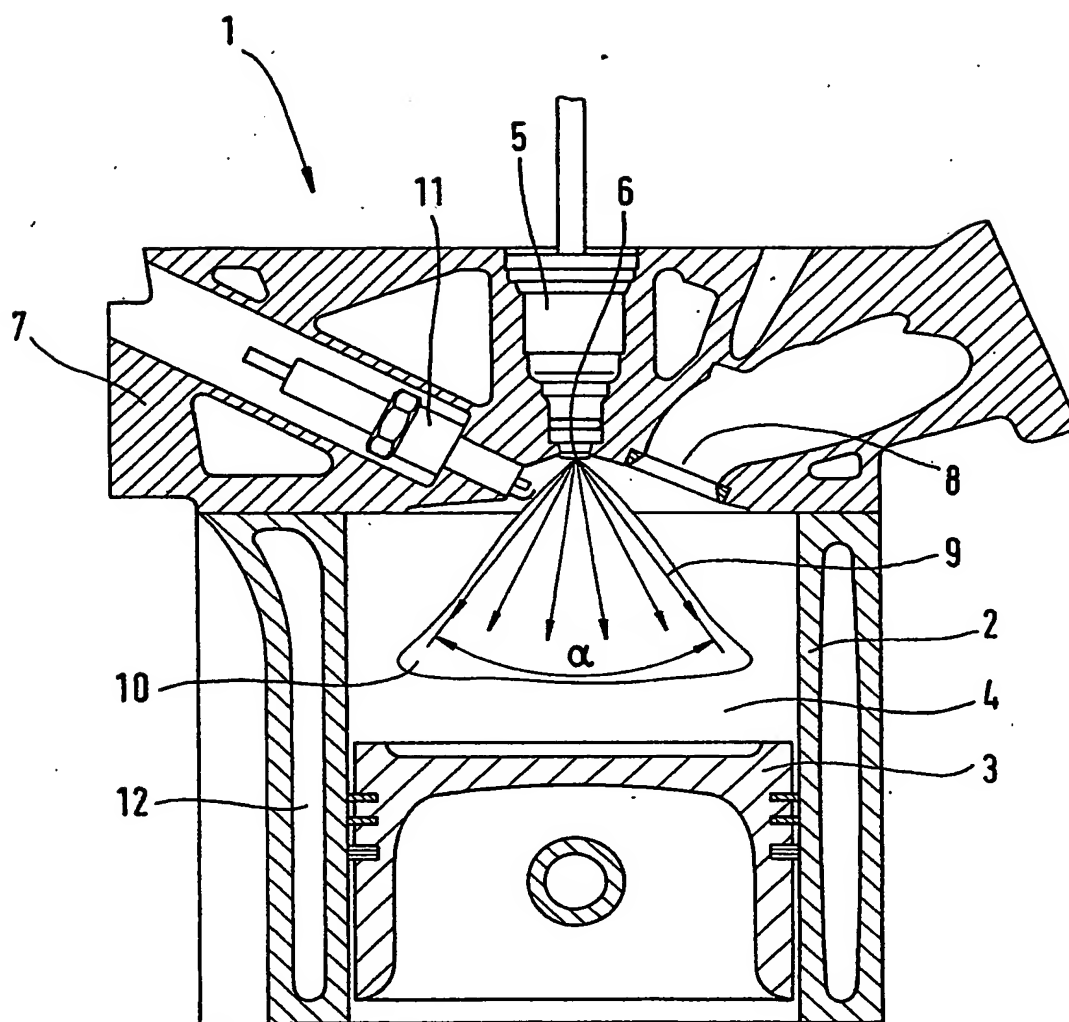


Fig. 1



2 / 2

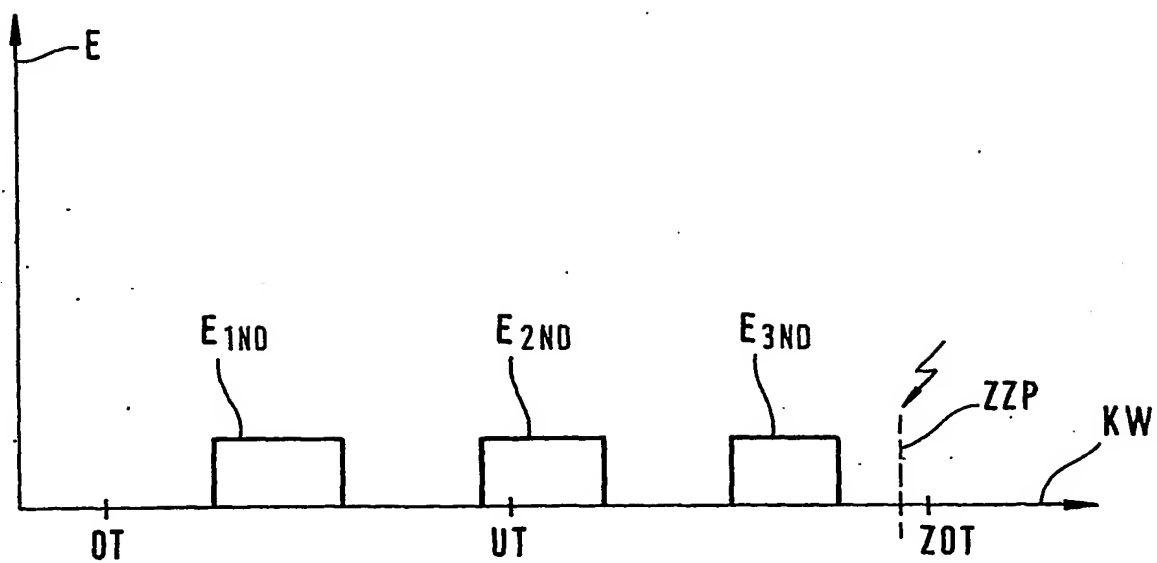


Fig. 2

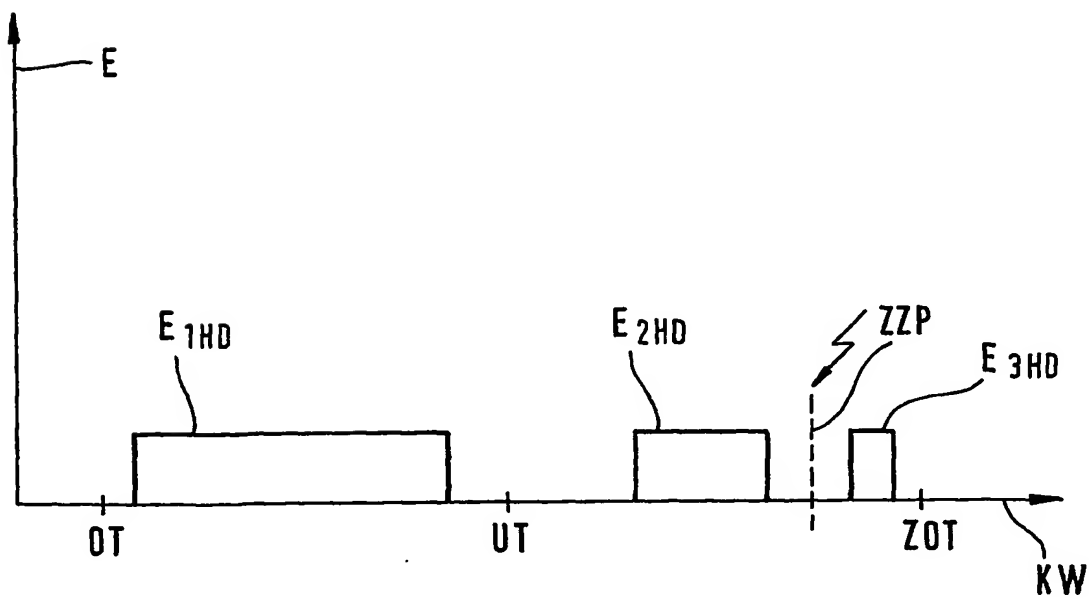


Fig. 3

10/527458

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Search No.  
PCT/EP 03/09988A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F02D41/06 F02D41/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 23 280 C (DAIMLER CHRYSLER AG ;SIEMENS AG (DE)) 11 November 1999 (1999-11-11) cited in the application abstract column 3, line 39 -column 4, line 66 figure 2	1-7
A	WO 99 67526 A (BOSCH GMBH ROBERT ;BOCHUM HANSJOERG (DE)) 29 December 1999 (1999-12-29) cited in the application the whole document	1-7
A	WO 01 34961 A (SIEMENS AUTOMOTIVE SA ;AUBOURG ALAIN (FR); HAUET BERTRAND (FR); RE) 17 May 2001 (2001-05-17) the whole document	1-7
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 January 2004

Date of mailing of the international search report

14/01/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Libeaut, L

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Publication No.  
PCT/EP 05/09988

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>US 5 482 017 A (YANG JIALIN ET AL)            9 January 1996 (1996-01-09)            cited in the application            the whole document</p>	1-7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/EP 03/09988

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19823280	C	11-11-1999	DE 19823280 C1	11-11-1999
			EP 0961019 A2	01-12-1999
			JP 11351028 A	21-12-1999
			US 6145490 A	14-11-2000
WO 9967526	A	29-12-1999	DE 19827609 A1	23-12-1999
			WO 9967526 A1	29-12-1999
			DE 59906879 D1	09-10-2003
			EP 1090221 A1	11-04-2001
			JP 2002519561 T	02-07-2002
			US 6439190 B1	27-08-2002
WO 0134961	A	17-05-2001	FR 2800801 A1	11-05-2001
			WO 0134961 A1	17-05-2001
			EP 1228302 A1	07-08-2002
			JP 2003514186 T	15-04-2003
US 5482017	A	09-01-1996	US RE36737 E	20-06-2000

## INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Internat. Zeichen

PCT/EP 03/09988

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 F02D41/06 F02D41/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F02D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 198 23 280 C (DAIMLER CHRYSLER AG ; SIEMENS AG (DE)) 11. November 1999 (1999-11-11) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Spalte 3, Zeile 39 - Spalte 4, Zeile 66 Abbildung 2	1-7
A	WO 99 67526 A (BOSCH GMBH ROBERT ; BOCHUM HANSJOERG (DE)) 29. Dezember 1999 (1999-12-29) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-7
A	WO 01 34961 A (SIEMENS AUTOMOTIVE SA ; AUBOURG ALAIN (FR); HAUET BERTRAND (FR); RE) 17. Mai 2001 (2001-05-17) das ganze Dokument	1-7

-/-

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Januar 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

14/01/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Libeaut, L

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 482 017 A (YANG JIALIN ET AL) 9. Januar 1996 (1996-01-09) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-7

# INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Internat. Zeichen  
PCT/EP 03/09988

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19823280 C	11-11-1999	DE 19823280 C1 EP 0961019 A2 JP 11351028 A US 6145490 A	11-11-1999 01-12-1999 21-12-1999 14-11-2000
WO 9967526 A	29-12-1999	DE 19827609 A1 WO 9967526 A1 DE 59906879 D1 EP 1090221 A1 JP 2002519561 T US 6439190 B1	23-12-1999 29-12-1999 09-10-2003 11-04-2001 02-07-2002 27-08-2002
WO 0134961 A	17-05-2001	FR 2800801 A1 WO 0134961 A1 EP 1228302 A1 JP 2003514186 T	11-05-2001 17-05-2001 07-08-2002 15-04-2003
US 5482017 A	09-01-1996	US RE36737 E	20-06-2000